

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СТАТИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ ЗВУКА В ГРОМКОСТЬ

Г. Ф. Дюбко

Харьковский институт радиоэлектроники

В работе [1] предложена математическая модель адаптации слуха в виде системы уравнений

$$V = c \lg dJ, \quad (1)$$

$$m \frac{dT}{dt} + T = kV, \quad (2)$$

$$G^* = V - T, \quad (3)$$

$$G = \varphi(G^*). \quad (4)$$

О виде функции φ нам ничего не известно, кроме ее взаимно-однозначного соответствия. Предположим, что (4) имеет вид

$$G = r \cdot 10^{G^*} + s, \quad (5)$$

где r и s — некоторые константы.

Принимая модель, описываемую уравнениями (1) — (3), (5), в качестве гипотезы, попытаемся вывести из нее следствие, которое можно проверить экспериментально.

Основным прибором, регистрирующим реакции слухового аппарата на звуковой сигнал, является наше сознание. В экспериментах по проверке модели адаптации слуха мы использовали сознание как нуль-прибор. Точность подобных экспериментов довольно высока, однако они не отвечают на вопрос о виде функции $\varphi(G^*)$.

Здесь, очевидно, нужно привлечь другие измерительные свойства сознания, в частности, деление интервала громкости пополам. Это свойство сознания использовано для построения натуральной шкалы громкости в работах [2—4]. Наиболее надежными кажутся результаты работы 5, в которой сравниваются различные методы получения натуральной шкалы громкости и приводится таблица зависимости громкости от интенсивности звука.

Таким образом, рассматривая интервал громкости с граничными значениями G_1 и G_2 , можно громкость, среднюю между G_1 и G_2 обозначить через G . Далее интервалы $[G_1, G_2]$ и $[G_1, G]$, в свою очередь делятся пополам и т. д., т. е. теоретически интервал громкости $[G_1, G_2]$ можно разделить в любом четном отношении λ . Громкость, полученная в результате такого деления, выразится зависимостью

$$G = (1 - \lambda)G_1 + \lambda G_2. \quad (6)$$

Пусть громкостям G_1, G_2, G соответствуют интенсивности звука j_1, j_2, j и, кроме того, ухо адаптировано к сигналу постоянной интенсивности J_0 .

Учитывая (1) — (4), можно записать

$$G = \varphi(G^*) = \varphi(c \lg dJ - kc \lg dJ_0), \tag{7}$$

где J_0 — интенсивность фона;

J — интенсивность звука, имеющего громкость в первый момент сравнения.

Мы не останавливаемся здесь на динамических реакциях модели (1) — (4), поэтому преобразование интенсивности в громкость может быть названо статическим.

Подставив (7) в (5), получим

$$G = r(dJ)^c (dJ_0)^{-kc} + s. \tag{8}$$

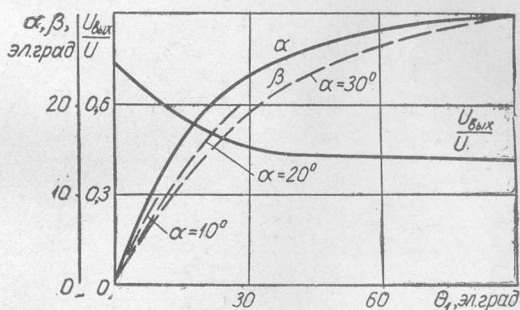


Рис. 1

Применяя формулу (8) к граничным значениям интервала громкости $[G_1, G_2]$, можно записать

$$G_1 = r(dJ_1)^c (dJ_0)^{-kc} + s, \tag{9}$$

$$G_2 = r(dJ_2)^c (dJ_0)^{-kc} + s. \tag{10}$$

Подставив в формулу (6) вместо G_1, G_2, G_3 их значения из (8), (9) (10), получим

$$J^c = (1 - \lambda) J_1^c + \lambda J_2^c. \tag{11}$$

В частности, из (11) следует, что выбор уровня интенсивности, дающего громкость, среднюю между G_1 и G_2 , не зависит от интенсивности фона J_0 . Если при некотором уровне фона громкость G окажется средней между G_1 и G_2 , то она будет средней и при другом уровне фона.

Зависимость (11) допускает экспериментальную проверку, поскольку в нее входят объективно измеримые физические величины.

Если в (8) заменить J_0 на J , то

$$G = r(dJ)^{c(1-k)} + s. \tag{12}$$

Это означает, что испытуемый слушает тон интенсивности J , к которому он адаптирован. Формула (12) дает зависимость между интенсивностью звука и громкостью. Как видно, эта зависимость — степенная.

В таблице приведены значения громкости (в единицах К) в зависимости от интенсивности, по данным Квека. Данные приводятся для

интенсивностей от 40 до 80 дб. Воспользуемся этими значениями для проверки зависимости (11), преобразовав ее к виду

$$J = [(1 - \lambda) J_1^c + \lambda J_2^c]^c. \quad (13)$$

$J, \text{ дб}$	$G, \text{ ед К}$	$J, \text{ дб}$	$G, \text{ ед К}$	$J, \text{ дб}$	$G, \text{ ед К}$	$J, \text{ дб}$	$G, \text{ ед К}$
40	6,8	50,5	10,1	60,5	14,6	70,5	21,3
40,5	6,9	51	10,3	61	14,9	71	21,7
41	7,1	51,5	10,5	61,5	15,2	71,5	22,1
41,5	7,2	52	10,6	62	15,5	72	22,5
42	7,3	52,5	10,8	62,3	15,8	72,5	22,9
42,5	7,5	53	11	63	16,1	73	23,4
43	7,6	53,5	11,3	63,5	16,4	73,5	23,8
43,5	7,7	54	11,5	64	16,7	74	24,3
44	7,9	54,5	11,7	64,5	17	74,5	24,7
44,5	8	55	11,9	65	17,3	75	25,1
45	8,2	55,5	12,1	65,5	17,6	75,5	25,6
45,5	8,4	56	12,4	66	18	76	26,1
46	8,5	56,5	12,6	66,5	18,3	76,5	26,6
46,5	8,7	57	12,8	67	18,6	77	27,1
47	8,8	57,5	13,0	67,5	19,0	77,5	27,6
47,5	9,0	58	13,3	68	19,4	78	28,1
48	9,2	58,5	13,5	68,5	19,7	78,5	28,6
48,5	9,3	59	13,8	69	20,1	79	29,2
49	9,5	59,5	14,1	69,5	20,5	79,5	29,7
49,5	9,7	60	14,3	70	20,9	80	30,3
50	9,9						

Положив $c = 0,24$, построим теоретическую кривую по (13). Эта кривая приведена на рис. 1. Кружками отмечены экспериментальные точки, взятые из данных Квека. Построение выполнено в логарифмическом масштабе. Теоретическая кривая довольно точно совпадает с экспериментом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ю. П. Шабанов-Кушнаренко, Г. Ф. Дюбко, Е. П. Путятин, М. Ф. Бондаренко. Моделирование статики адаптации слуха и зрения (статья в настоящем сборнике).
2. M. Kwiek. Badania nad przebiegiem czutosci sluchu na amplitudzie dzwiekow. Prace Komisji Mat. Przyr. Pozn. Towarz. Przyjaciól Nauk, Poznan, A, 6, 9, 135—150, 1950.
3. W. R. Garner. J. Acoust. Sos. Am., 1952, 24, 2.
4. W. R. Garner. J. Acoust. Sos. Am., 23, 1, 1954.
5. «Акустический журнал», 1960, т. VI, вып. 4, стр. 419—440.